JURNAL ECOCENTRISM
P ISSN 2775-3220 || E ISSN 2807-1085 Volume 6 | Nomor 2

ANALISIS KOMPARATIF KUALITAS AIR IPAL SUWUNG DAN WADUK TUKAD BADUNG SEBAGAI AIR HIGIENE SANITASI

Anak Agung Ratu Ritaka Wangsa[1*)], Tjokorda Istri Praganingrum[1)], Ida Bagus Suryatmaja[1)], Ni Luh Made Ayu Mirayani Pradnyadari[1)]

[1)] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar, Bali

Email korespondensi: ritaka2020@unmas.ac.id

ABSTRAK

Ancaman defisit air di wilayah Bali Selatan mendorong urgensi pemanfaatan sumber air nonkonvensional seperti efluen air limbah terolah dan air permukaan urban. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kualitas air olahan IPAL Suwung dan air Waduk Tukad Badung sebagai potensi sumber air baku keperluan higiene sanitasi berdasarkan Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 2 Tahun 2023. Pengujian parameter fisika, kimia, dan bakteriologis dilakukan di Laboratorium Quantum Sarana Medik Denpasar. Hasil penelitian menunjukkan kualitas air Waduk Tukad Badung secara umum lebih mendekati baku mutu dibandingkan efluen IPAL Suwung. Parameter kekeruhan pada efluen IPAL Suwung (90 NTU) melampaui batas maksimum baku mutu (25 NTU). Pada aspek bakteriologis, kedua sumber air mengalami kontaminasi berat dengan Total Coliform (>2.400 MPN/100 mL) dan *Escherichia coli* (460 MPN/100 mL di waduk dan 920 MPN/100 mL di IPAL) yang melebihi standar aman (50 CFU/100 mL untuk Coliform dan 0 CFU/100 mL untuk *E. coli*). Disimpulkan bahwa kedua sumber air tersebut tidak direkomendasikan untuk pemanfaatan langsung tanpa pengolahan tersier seperti filtrasi cepat, adsorpsi karbon aktif, ultrafiltrasi, serta disinfeksi tingkat lanjut (Ozon/UV).

Kata Kunci: Air Higiene Sanitasi, IPAL Suwung, Kekeruhan, Total *Coliform*, Tukad Badung

ABSTRACT

The threat of water deficit in South Bali drives the urgency of utilizing non-conventional water sources such as treated wastewater effluent and urban surface water. This study aims to analyze and compare the water quality of Suwung WWTP effluent and Tukad Badung Reservoir water as potential raw water sources for hygiene and sanitation purposes based on the Environmental Health Quality Standards of Permenkes RI No. 2/2023. Physical, chemical, and bacteriological parameters were tested at the Quantum Sarana Medik Laboratory, Denpasar. Results showed that the water quality of Tukad Badung Reservoir generally aligns more closely with standard limits than Suwung WWTP effluent. Turbidity in Suwung WWTP effluent (90 NTU) exceeded the maximum allowable threshold (25 NTU). Bacteriologically, both water sources exhibited severe contamination, with Total Coliform (>2,400 MPN/100 mL) and Escherichia coli (460 MPN/100 mL in the reservoir and 920 MPN/100 mL in the WWTP) exceeding safe limits (50 CFU/100 mL for Coliform and 0 CFU/100 mL for E. coli). In conclusion, both water sources are not recommended for direct use without tertiary treatment such as rapid filtration, activated carbon adsorption, ultrafiltration, and advanced disinfection (Ozone/UV).

***Keywords**: Hygiene and Sanitation Water, Suwung WWTP, Total Coliform, Tukad Badung, Turbidity*

Copyright © [2026] Author(s). Published by Jurnal Ecocentrism. Licensed CC BY-SA 4.0.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih telah menjadi tantangan krusial di wilayah perkotaan dengan pertumbuhan pesat seperti Kota Denpasar dan Kabupaten Badung. Fenomena urbanisasi yang masif, ditambah dengan status Bali sebagai destinasi wisata internasional, telah meningkatkan kebutuhan air domestik dan nondomestik secara signifikan. Berdasarkan data proyeksi strategis, wilayah Bali Selatan diperkirakan akan menghadapi defisit pasokan air jika diversifikasi sumber air alternatif tidak segera diproyeksikan secara terintegrasi (Aranta, 2024). Krisis ketersediaan ini paling dirasakan di wilayah Badung Selatan, di mana ketergantungan pada sumber air konvensional berbasis air tanah dan aliran sungai alami mulai menghadapi keterbatasan akibat eksploitasi berlebihan yang berisiko menurunkan muka air tanah serta memicu intrusi air laut (Eka, 2026).

Sebagai langkah strategis jangka panjang, konsep pemanfaatan kembali air limbah hasil olahan (*water reuse/reclamation*) dan optimalisasi air permukaan dari badan air perkotaan muncul sebagai solusi substitusi potensial untuk menutupi defisit pasokan air baku tersebut. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Suwung, yang dikelola melalui program *Denpasar Sewerage Development Project* (DSDP), merupakan infrastruktur pengolahan air limbah domestik perkotaan dengan kapasitas desain terpasang mencapai 51.000 m^3/hari dan direncanakan untuk dikembangkan hingga 108.000 m^3/hari (Wulantari et al., 2025). Efluen dari IPAL ini memiliki potensi kuantitas yang stabil sepanjang tahun untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber air baku non-potabel (Rarasari *et a*l., 2019). Di sisi lain, Waduk Muara Tukad Badung berfungsi sebagai penampung air permukaan hilir yang memegang peranan penting dalam penyediaan pasokan air baku bagi Perumda Air Minum dengan kapasitas suplai mencapai 500 L/detik (Dana, 2019).

Namun demikian, kendala utama dalam pemanfaatan kedua sumber air nonkonvensional ini terletak pada aspek kualitas air. Air dari efluen IPAL maupun air permukaan urban sering kali membawa polutan organik, anorganik, dan mikrobiologis dalam konsentrasi yang melampaui ambang batas aman. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa parameter seperti BOD, fosfat, dan indikator mikrobiologi pada badan air Tukad Badung sering kali tidak memenuhi standar kelas air akibat masukan limbah cair domestik dari permukiman di sepanjang bantaran sungai (Putra *et al*., 2025). Padahal, air yang dialokasikan untuk kebutuhan higiene sanitasi masyarakat wajib memenuhi standar kualitas kesehatan guna memitigasi risiko penularan penyakit tular air (*waterborne diseases*).

Siklus reklamasi air limbah terbagi menjadi pemanfaatan potabel dan non-potabel seperti pemeliharaan kebersihan urban (Metcalf and Eddy et al., 2007). Pemanfaatan efluen IPAL domestik memerlukan pemahaman mengenai efisiensi penyisihan polutan dalam sistem pengolahan sekunder. Unit pengolahan biologis konvensional umumnya dirancang untuk mereduksi padatan tersuspensi dan karbon organik terurai, namun menyisakan senyawa organik refraktori dan nutrien terlarut yang membutuhkan pengolahan lanjutan (*tertiary treatment*) seperti filtrasi membran atau adsorpsi karbon

aktif (Kumar *et al*., 2024). Sementara itu, air permukaan urban yang mengalir melintasi kawasan perkotaan mengalami degradasi kualitas akibat kontaminasi *point source* dan *non-point source* seperti limpasan air hujan (Effendi, 2003). Waduk muara yang berada di hilir daerah aliran sungai (DAS) cenderung mengalami akumulasi nutrien yang berpotensi memicu eutrofiasi serta menurunkan kadar oksigen terlarut (Septiariva & Suryawan, 2021).

Penerapan regulasi Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) RI Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan menetapkan Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) untuk media air yang digunakan untuk keperluan higiene sanitasi. Regulasi ini mencakup aktivitas pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi, cuci, dan pembersihan peralatan (Kemenkes RI, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menganalisis dan membandingkan kualitas air olahan IPAL Suwung serta air Waduk Tukad Badung sebagai potensi sumber air baku keperluan higiene sanitasi berdasarkan Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, serta memberikan rekomendasi teknis pengolahan tersier yang diperlukan.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Waktu Sampling

Pengambilan sampel air dilakukan pada dua lokasi di wilayah Sarbagita, Provinsi Bali. Titik sampling pertama berlokasi pada saluran efluen akhir Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Suwung, Denpasar (koordinat 8°43′12″ LS, 115°13′05″ BT). Titik sampling kedua terletak di kawasan Waduk Muara Tukad Badung (8°43′45″ LS, 115°11′50″ BT). Pengambilan sampel contoh air dilaksanakan pada bulan Januari 2026.

Teknik pengambilan sampel contoh air di lapangan dilakukan menggunakan metode *grab sampling* sesuai dengan ketentuan SNI 6989.57:2008 untuk air permukaan dan SNI 6989.59:2008 untuk air limbah domestik (Badan Standardisasi Nasional, 2008). Pengambilan sampel tunggal ini diposisikan sebagai studi pendahuluan (*baseline screening survey*). Keterbatasan metode *grab sampling* tunggal adalah belum merepresentasikan fluktuasi kualitas air akibat variasi beban hidrolik harian maupun perubahan musim (*temporal variation*), sehingga diperlukan studi komprehensif lanjutan secara berkala (*composite sampling*).

2.2 Metode Analisis Laboratorium

Sampel air dimasukkan ke dalam wadah steril dan disimpan di dalam wadah pendingin (*cooler box*) bersuhu ≤ 4°C selama pengangkutan menuju laboratorium. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Quantum Sarana Medik Diagnostic Centre, Denpasar (terakreditasi KAN). Prosedur operasional analisis merujuk pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Lipps *et al*., 2023) dan Standar Nasional Indonesia (SNI), yang dirinci sebagai berikut:

1. **Parameter Fisika:**
   a. *Total Dissolved Solids (TDS)*: Metode Gravimetri / APHA 2540 C (SNI 6989.27:2019).
   b. Kekeruhan: Metode Nephelometric / APHA 2130 B (SNI 06-6989.25-2005).
   c. Suhu: Metode Termometrik / APHA 2550 B (SNI 06-6989.23-2005) diukur langsung di lapangan.
2. **Parameter Kimia:**
   a. Derajat Keasaman (pH): Metode Elektrometri / APHA 4500-H^+ B (SNI 06-6989.11-2004).
   b. Besi (Fe) & Mangan (Mn): Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) Nyala / APHA 3111 B (SNI 6989.4:2009 & SNI 6989.5:2009).
   c. Timbal (Pb) & Merkuri (Hg): AAS Tungku Karbon / APHA 3113 B & Cold Vapor AAS / APHA 3112 B.
   d. Zat Organik ($KMnO_4$): Titrasi Permanganometri / APHA 5220 B (SNI 06-6989.22-2004) sebagai parameter pengujian tambahan.
3. **Parameter Mikrobiologi:**
   a. Total Coliform dan *Escherichia coli*: Metode *Multiple Tube Fermentation* / Tabung Ganda *Most Probable Number* (MPN) / APHA 9221 (SNI 01-2897-1992).

2.3 Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian laboratorium ditabulasikan dan dianalisis menggunakan metode deskriptif komparatif. Hasil analisis dibandingkan secara langsung dengan nilai Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) untuk Keperluan Higiene Sanitasi sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 2 Tahun 2023 (Lampiran I) (Kemenkes RI, 2023). Evaluasi diklasifikasikan menjadi Memenuhi Syarat (MS) jika nilai $\leq$ baku mutu, dan Tidak Memenuhi Syarat (TMS) jika nilai > baku mutu.

Secara metodologis, terdapat perbedaan unit pengukuran pada parameter mikrobiologi: laboratorium penguji menggunakan metode MPN (satuan MPN/100 mL), sedangkan Permenkes No. 2 Tahun 2023 menggunakan metode hitung koloni (*Membrane Filter / Plate Count*) dengan satuan CFU/100 mL (*Colony Forming Units*). Meskipun metode MPN berbasis estimasi probabilitas statistik dan CFU berbasis perhitungan fisik koloni kualitatif, secara prinsip kesehatan lingkungan kedua parameter ini mengukur keberadaan populasi bakteri indikator yang sama, sehingga evaluasi kepatuhan tetap dapat disandingkan secara kritis (Lipps *et al*., 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Parameter Fisika

Hasil pengujian parameter fisika pada kedua titik sampling beserta pembanding baku mutu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter Fisika Air

Parameter	Satuan	Waduk Tukad Badung	Efluen IPAL Suwung	Baku Mutu (Permenkes 2/2023) *	Keterangan
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	204	523	1.000	Kedua Lokasi MS
Kekeruhan	NTU	7	**90***	25	IPAL Suwung TMS
Suhu Sampel	˚C	27,2	28,5	Suhu Udara ± 3	Kedua Lokasi MS

*Sumber : Baku Mutu SBMKL Keperluan Higiene Sanitasi, Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 (Lampiran I).

*Catatan: Suhu udara lokasi diukur sebesar $28,0°C$ (rentang baku mutu: $25,0°C - 31,0°C$). Cetak tebal dan tanda (*) menandakan nilai melampaui baku mutu (TMS).

1. **Total Dissolved Solids (TDS)**: Nilai TDS pada efluen IPAL Suwung tercatat sebesar 523 mg/L, lebih tinggi dibandingkan dengan air Waduk Tukad Badung (204 mg/L). Konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi pada air olahan IPAL dipengaruhi oleh sisa pelarutan ion anorganik dari produk penguraian limbah rumah tangga serta kandungan garam domestik. Meskipun demikian, kadar TDS kedua lokasi berada di bawah batas maksimum 1.000 mg/L yang ditetapkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 untuk air higiene sanitasi, sehingga tergolong Memenuhi Syarat (MS).
2. **Kekeruhan**: Air Waduk Tukad Badung mencatatkan nilai kekeruhan sebesar 7 NTU, berada di bawah batas maksimum 25 NTU. Sebaliknya, efluen IPAL Suwung menunjukkan angka kekeruhan tinggi mencapai **90 NTU*** (Tidak Memenuhi Syarat). Tingginya kekeruhan pada efluen IPAL menandakan adanya pelolosan partikel padatan tersuspensi (*suspended solids*) atau partikel flok mikrobia dari bak sedimentasi sekunder akibat fluktuasi pembebanan hidrolik. Tingginya kekeruhan dapat menurunkan efisiensi disinfeksi karena partikel padatan bertindak sebagai pelindung mekanis bagi mikroorganisme patogen dari kontak dengan agen disinfektan (Sanjaya, 2025).
3. **Suhu:** Suhu udara di lokasi pengujian tercatat sebesar $28,0°C$. Sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023, standar suhu air adalah suhu udara $\pm 3°C$ (rentang $25,0°C - 31,0°C$). Hasil pengukuran menunjukkan suhu sampel Waduk Tukad Badung sebesar $27,2°C$ dan efluen IPAL Suwung sebesar $28,5°C$, sehingga kedua lokasi tergolong Memenuhi Syarat (MS).

3.2 Analisis Parameter Kimia

Karakteristik kimia air menjadi parameter fundamental untuk menilai tingkat stabilitas keasaman, keberadaan kontaminan beracun, serta sisa beban senyawa organik yang resisten terhadap sistem pengolahan biologis. Tabulasi hasil analisis parameter kimia secara rinci disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Parameter Kimia Air

Parameter Uji	Satuan	Waduk Tukad Badung	Efluen IPAL Suwung	Baku Mutu (Permenkes 2/2023) *	Status Kelayakan
Derajat Keasaman (pH)	-	6,8	6,9	6,5 – 8,5	Kedua Lokasi MS
Besi (Fe)	mg/L	< 0,01	< 0,01	1,0	Kedua Lokasi MS
Mangan (Mn)	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,5	Kedua Lokasi MS
Timbal (Pb)**	mg/L	< 0,001	< 0,001	*Tidak diatur*	Parameter Tambahan
Merkuri (Hg)**	mg/L	< 0,0005	< 0,0005	*Tidak diatur*	Parameter Tambahan
Zat Organik ($KMnO_4$)**	mg/L	9,79	**15,8***	*Tidak diatur*	Parameter Tambahan

*Sumber : Baku Mutu SBMKL Keperluan Higiene Sanitasi, Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 (Lampiran I).

Catatan: Parameter $KMnO_4$, Pb, dan Hg tidak terdaftar sebagai parameter standar wajib air untuk keperluan higiene sanitasi pada Permenkes No. 2 Tahun 2023. Nilai $KMnO_4$ sebesar 15,8 mg/L dievaluasi berdasarkan referensi kriteria mutu umum (10 mg/L).

1. **Derajat Keasaman (pH):** Nilai pH pada Waduk Tukad Badung (6,8) dan efluen IPAL Suwung (6,9) berada dalam rentang ideal baku mutu (6,5–8,5). Kondisi pH netral ini mendukung proses koagulasi pada unit pengolahan air bersih karena berada dalam rentang optimum kerja koagulan berbasis alumunium atau garam besi tanpa memerlukan koreksi pH berlebih (Muhajir et al., 2024).
2. **Besi (Fe) dan Mangan (Mn):** Konsentrasi Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada kedua titik sampling berada di bawah limit deteksi alat (< 0,01 mg/L), memenuhi baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023 yang menetapkan batas maksimum 1,0 mg/L untuk Fe dan 0,5 mg/L untuk Mn pada air higiene sanitasi.
3. **Logam Berat (Pb dan Hg):** Pengujian logam berat Timbal (Pb) dan Merkuri (Hg) mencatatkan nilai di bawah batas deteksi instrumen laboratorium (< 0,001 mg/L untuk Pb dan < 0,0005 mg/L untuk Hg). Perlu dicatat bahwa parameter Pb dan Hg tidak lagi dimasukkan sebagai parameter wajib air higiene sanitasi dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023. Temuan ini menunjukkan bahwa pada saat sampling dilakukan, kadar logam berat tersebut berada dalam konsentrasi rendah. Namun, kesimpulan ini terbatas pada cakupan grab sampling tunggal dan belum dapat digeneralisasi bahwa badan air sepenuhnya terbebas dari pencemaran industri secara permanen.
4. **Zat Organik ($KMnO_4$):** Parameter zat organik ($KMnO_4$) tidak dicantumkan sebagai parameter wajib air higiene sanitasi dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 (berbeda dari regulasi sebelumnya seperti Permenkes 32/2017 atau baku mutu air minum). Sebagai

parameter pengujian pelengkap, kadar $KMnO_4$ pada air Waduk Tukad Badung tercatat sebesar 9,79 mg/L dan pada efluen IPAL Suwung sebesar 15,8 mg/L. Tingginya angka $KMnO_4$ pada IPAL Suwung mengindikasikan masih adanya sisa senyawa organik refraktori terlarut yang lolos dari sistem pengolahan biologis sekunder (Rarasari et al., 2019).

3.3 Analisis Parameter Bakteriologis

Aspek mikrobiologi atau bakteriologis merupakan bagian yang paling kritis dalam menentukan tingkat keamanan higienis pemanfaatan air untuk aktivitas yang melibatkan kontak langsung dengan manusia. Hasil pengujian mikrobiologi laboratorium terangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Parameter Bakteriologis Air

Parameter	Satuan Uji Lab	Hasil Waduk	Hasil IPAL	Baku Mutu (Permenkes 2/2023) *	Satuan Baku Mutu
Total *Coliform*	MPN/100 mL	**> 2.400***	**> 2.400***	50	CFU/100 mL
Escherichia coli	MPN/100 mL	**460***	**920***	0	CFU/100 mL

*Sumber : Baku Mutu SBMKL Keperluan Higiene Sanitasi, Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 (Lampiran I).
*Catatan: Cetak tebal dan tanda (*) menandakan nilai melampaui batas aman baku mutu (TMS).

Hasil pengujian mikrobiologi menunjukkan bahwa kedua sumber air mengalami kontaminasi bakteriologis tinggi:

1. Total Coliform: Kepadatan Total Coliform pada Waduk Tukad Badung dan efluen IPAL Suwung mencatatkan nilai batas maksimum pembacaan instrumen tabung ganda, yaitu >2.400 MPN/100 mL*. Nilai ini melampaui ambang batas SBMKL Permenkes No. 2 Tahun 2023 yang menetapkan batas maksimum 50 CFU/100 mL.
2. *Escherichia coli*: Bakteri indikator *Escherichia coli* terdeteksi sebesar 460 MPN/100 mL* pada Waduk Tukad Badung dan 920 MPN/100 mL* pada efluen IPAL Suwung, sedangkan regulasi menetapkan syarat mutlak 0 CFU/100 mL.

Escherichia coli merupakan bakteri indikator spesifik yang menandakan terjadinya kontaminasi tinja/feses dari manusia maupun hewan berdarah panas (*warm-blooded animals*). Tingginya *E. coli* pada Waduk Tukad Badung mengindikasikan adanya buangan limbah *blackwater* rumah tangga secara langsung atau kebocoran sistem tangki septik di sepanjang daerah aliran sungai (Sultan, 2023). Sementara itu, tingginya bakteri enterik pada efluen IPAL Suwung menunjukkan bahwa proses klarifikasi dan disinfeksi sekunder yang ada saat ini belum optimal dalam mereduksi mikroorganisme patogen. Kondisi ini berpotensi dipengaruhi oleh *shielding effect* akibat tingginya kekeruhan (90 NTU), di mana padatan tersuspensi melindungi sel bakteri dari agen disinfektan.

3.4 Perbandingan Kelayakan dan Rekomendasi Pengolahan Tersier

Ditinjau dari parameter fisika dan kimia, air permukaan Waduk Tukad Badung memiliki kualitas yang lebih mendekati kriteria baku mutu dibandingkan efluen IPAL Suwung, terutama ditunjukkan oleh rendahnya kekeruhan (7 NTU). Namun, kedua sumber air nonkonvensional tersebut menghadapi kendala utama berupa tingginya kontaminasi bakteriologis. Oleh karena itu, kedua sumber air tidak direkomendasikan untuk pemanfaatan langsung tanpa pengolahan tersier (*advanced tertiary treatment*).

Rekomendasi konfigurasi teknologi pengolahan tersier beserta efisiensi penyisihaannya berdasarkan studi literatur meliputi:

1. **Saringan Pasir Cepat (*Rapid Sand Filter*) dan Adsorpsi Karbon Aktif Granular (GAC):** Penggunaan saringan pasir cepat yang dikombinasikan dengan media GAC terbukti mampu mereduksi kekeruhan hingga >90% dan menyisihkan senyawa organik terlarut ($KMnO_4$) sebesar 40–60% melalui mekanisme penyaringan fisik dan adsorpsi pada pori karbon (Kumar et al., 2024).
2. **Teknologi Ultrafiltrasi (UF) / *Membrane Bioreactor* (MBR):** Membran ultrafiltrasi dengan ukuran pori 0,01–0,1 μm mampu bertindak sebagai penghalang fisik yang menyisihkan padatan tersuspensi dan mereduksi bakteri Coliform serta *E. coli* hingga >99% (log reduction 3–4) (Metcalf and Eddy et al., 2007).
3. **Disinfeksi Tingkat Lanjut (Ozonisasi / Sinar UV):** Penerapan kombinasi Ozon (O_3) atau sistem radiasi Ultraviolet (UV) dosis tinggi efektif merusak dinding sel mikroorganisme patogen dengan tingkat inaktivasi bakteri mencapai 99,99%, sekaligus mereduksi sisa zat organik tanpa menghasilkan produk sampingan klorinasi yang berbahaya (Sanjaya, 2025).

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis deskriptif komparatif dan pembahasan pengujian laboratorium terhadap kualitas air olahan IPAL Suwung dan Waduk Tukad Badung, dapat ditarik beberapa kesimpulan ilmiah sebagai berikut:

1. Kualitas air permukaan Waduk Tukad Badung secara umum lebih mendekati kriteria Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) air higiene sanitasi berdasarkan Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 dibandingkan efluen IPAL Suwung, khususnya pada parameter kekeruhan (7 NTU vs 90 NTU).
2. Efluen IPAL Suwung tergolong Tidak Memenuhi Syarat (TMS) pada parameter kekeruhan (90 NTU) terhadap ambang batas baku mutu (25 NTU).
3. Kedua sumber air mengalami kontaminasi bakteriologis berat, dengan Total Coliform (>2.400 MPN/100 mL) dan *Escherichia coli* (460 MPN/100 mL di waduk dan 920 MPN/100 mL di IPAL) yang melampaui baku mutu kesehatan (50 CFU/100 mL dan 0 CFU/100 mL). Oleh karena itu, kedua sumber air tidak direkomendasikan untuk pemanfaatan langsung oleh masyarakat.

4.2 Saran

Demi mengoptimalkan pemanfaatan air nonkonvensional guna mengatasi ancaman defisit air bersih di Bali Selatan, disarankan agar:

1. Pemanfaatan Waduk Tukad Badung disarankan untuk diprioritaskan sebagai alternatif air baku dengan optimalisasi unit konvensional yang dilengkapi disinfeksi terukur.
2. Pemanfaatan efluen IPAL Suwung memerlukan penambahan unit pengolahan tersier berbasis filtrasi cepat, adsorpsi karbon aktif/ultrafiltrasi, dan sistem disinfeksi tingkat lanjut (Ozon/UV).
3. Diperlukan penelitian lanjutan dengan metode *composite sampling* berkala untuk memetakan fluktuasi kualitas air secara musiman (*seasonal variation*).

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Mahasaraswati Denpasar atas dukungan fasilitas penelitian. Apresiasi disampaikan kepada Laboratorium Quantum Sarana Medik Diagnostic Centre Denpasar atas fasilitasi pengujian sampel air, serta pengelola IPAL Suwung (DSDP) dan instansi terkait atas izin pengambilan sampel di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Aranta, S. (2024). *Bali terancam defisit air baku di 2025*. Nusa Bali. https://www.nusabali.com/index.php/berita/169384/bali-terancam-defisit-air-baku-di-2025

Badan Standardisasi Nasional, I. (2008). *SNI 6989.57:2008 Metoda pengambilan contoh air permukaan & SNI 6989.59:2008 Metoda pengambilan contoh air limbah. BSN*.

Dana, P. G. A. K. (2019). *Studi kualitas air di Tukad Badung bagian hilir guna memenuhi kebutuhan air bersih Bali Selatan [Skripsi, Universitas Ngurah Rai]. Repositori UNR*.

Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air: Bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Kanisius*.

Eka, A. (2026). *Persoalan air bersih di Badung Selatan belum tuntas gegara masalah teknis*. Detik Bali. https://www.detik.com/bali/berita/d-8296836/persoalan-air-bersih-di-badung-selatan-belum-tuntas-gegara-masalah-teknis

Kemenkes RI. (2023). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan PP No. 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*.

Kumar, A., Yadav, J., Vohra, R., & Sebastian, A. (2024). Water and wastewater engineering. Dalam *Advanced geospatial practices in natural environment resource management* (hlm. 26–37). IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-4317-3.ch002.

Lipps, W. C., Braun-Howland, E. B., & Baxter, T. E. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater (ed. ke-24). American Public Health Association (APHA)*.

Metcalf and Eddy, I., Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water reuse: Issues, technologies, and applications. McGraw-Hill*.

Muhajir, A., Junaidi, R., & Aznury, M. (2024). Pengoptimalan pengolahan air pada proses koagulasi dengan kombinasi bahan kimia aluminium sulfat dan poly aluminium

chloride. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(5), 976–984. https://doi.org/10.31004/innovative.v4i5.13890.

Putra, I. K. A., Arimbawa, W., & Wiratama, I. G. N. M. (2025). Evaluasi status mutu air Sungai Tukad Oos Kabupaten Gianyar. *Jurnal Ecocentrism*, 5(2), 105–118.

Rarasari, D. M. G., Restu, I. W., & Ernawati, N. M. (2019). The effectiveness of domestic waste treatment at the Suwung-Denpasar Wastewater Treatment Plant (IPAL) Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2), 153–163. https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i02.p03.

Sanjaya, T. (2025). *Penerapan Advanced Oxidation Process (AOP) dengan kombinasi ozon (O3) dan hidrogen peroksida (H2O2) untuk pengolahan air lindi [Skripsi, Universitas Islam Indonesia]. Repositori UII*.

Septiariva, I. Y., & Suryawan, I. W. K. (2021). Development of water quality index (WQI) and hydrogen sulfide (H2S) for assessment around Suwung landfill, Bali Island. *Journal of Sustainability Science and Management*, 16(4), 137–148. https://doi.org/10.46754/jssm.2021.06.012.

Sultan, S. H. (2023). *Kondisi suplai air bersih, karakteristik limbah cair domestik (black water), dan pemanfaatan layanan penyedotan lumpur tinja di Kota Makassar [Tesis, Universitas Hasanuddin]. Repositori UNHAS*.

Wulantari, S. A. I., Widiantara, I. K., & Wijaya, I. M. W. (2025). Analisis efektivitas unit kolam aerasi berdasarkan aspek teknis pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Suwung Denpasar. *Jurnal Ecocentrism*, 5(2), 72–81. https://doi.org/10.36733/jeco.v5i2.12542